

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 56 937.1

Anmeldetag: 05. Dezember 2002

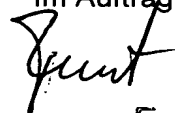
Anmelder/Inhaber: EPCOS AG, München/DE

Bezeichnung: Mit akustischen Volumenwellen arbeitendes Bauelement mit unsymmetrisch/symmetrischer Beschaltung

IPC: H 03 H 9/54

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 13. Oktober 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag


Faust

Beschreibung

Mit akustischen Volumenwellen arbeitendes Bauelement mit unsymmetrisch/symmetrischer Beschaltung

5

Die Erfindung betrifft ein mit akustischen Volumenwellen arbeitendes Bauelement, insbesondere ein Stacked Crystal Filter mit aufeinander gestapelten und miteinander verbundenen Dünnschicht-Resonatoren (oder FBAR, Thin Film Bulk Acoustic Wave Resonator), auch BAW-Resonator (Bulk Acoustic Wave Resonator) genannt.

10

Solche Resonatoren sind insbesondere für Bandpaß-Hochfrequenzfilter in der modernen Filtertechnik geeignet und können z. B. in den Geräten der mobilen Kommunikation eingesetzt werden.

15

Ein mit akustischen Volumenwellen arbeitender Resonator weist mindestens eine piezoelektrische Schicht auf, die zwischen zwei Metallschichten (Elektroden) angeordnet ist. In einem Stacked Crystal Filter werden mehrere Resonatoren aufeinander gestapelt, beispielsweise indem auf der obersten Elektrode des unteren Resonators zuerst eine zweite piezoelektrische Schicht und danach eine obere Elektrode des oberen Resonators abgeschieden wird. Dabei haben der obere und der untere Resonator eine gemeinsame Elektrode und sind akustisch miteinander verkoppelt.

20

25

Es ist bekannt, daß ein BAW-Resonator mit einem akustischen Spiegel versehen werden kann, der vorzugsweise zwischen einem mechanischen Trägersubstrat und dem BAW-Resonator angeordnet ist. Der akustische Spiegel besteht aus alternierenden Schichten mit jeweils einer hohen und einer niedrigen akustischen Impedanz, wobei ihre Schichtdicken jeweils ungefähr eine Viertelwellenlänge der akustischen Hauptmode (bezogen auf die Ausbreitungsgeschwindigkeit der akustischen Welle im jeweiligen Material) betragen. Der akustische

30

35

Spiegel stellt daher eine bzw. mehrere Grenzflächen bereit, welche bei Resonanzfrequenz die akustische Welle zurück in den Resonator reflektieren und das Austreten der Welle in Richtung des Trägersubstrates verhindern.

5

Ein teilweise durchlässiger akustischer Spiegel kann zwischen dem oberen und dem unteren Resonator des Stacked Crystal Filters angeordnet sein. Der teilweise durchlässige akustische Spiegel bildet ein Koppelschichtsystem und kann zur Steuerung der akustischen Kopplung zwischen den beiden Resonatoren genutzt werden.

10

Bei Herstellung der Hochfrequenz-Filter für Anwendungen mobiler Kommunikation ist oft aufgrund der Reduzierung des Platzbedarfes erwünscht, daß das Filter gleichzeitig die Funktion eines Baluns erfüllt, wobei ein unsymmetrisches Signal zu gegenphasigen Signalen eines symmetrischen Ausgangs verarbeitet wird.

15

In Figur 1 ist ein bekanntes Stacked Crystal Filter mit integrierter Balun-Funktionalität schematisch dargestellt. Ein erster Resonator RE1 ist durch eine erste piezoelektrische Schicht PS1, eine erste E1 und eine zweite E2 Elektrode gebildet und zwischen einem signalführenden Anschluß T1 eines ersten, unsymmetrisch ausgebildeten elektrischen Tores und Masse geschaltet. Ein zweiter Resonator RE2 ist durch eine zweite piezoelektrische Schicht PS1, eine dritte E3 und eine vierte E4 Elektrode gebildet und zwischen einem ersten T21 und einem zweiten T22 Anschluß eines zweiten, symmetrisch ausgebildeten elektrischen Tores geschaltet. Die Resonatoren RE1 und RE2 sind mittels eines Koppelschichtsystems KS akustisch miteinander verbunden. Das Koppelschichtsystem KS weist alternierend angeordnete (im akustischen Sinne teilweise durchlässige) Spiegelschichten mit einer hohen bzw. einer niedrigen akustischen Impedanz (Bezugszeichen HZ bzw. LZ) auf, die vorzugsweise eine Dicke von $\lambda/4$ haben, wobei λ die Wellenlänge der zu reflektierenden

20

25

30

35

akustischen Welle ist. Das hier gezeigte Stacked Crystal Filter hat den Nachteil, daß die an verschiedenen Grenzflächen der Spiegelschichten des Koppelschichtsystems reflektierten Anteile der akustischen Welle einen

- 5 Phasenunterschied zueinander aufweisen und dadurch insbesondere zur Abweichung der Phasendifferenz der symmetrischen Signale am zweiten Tor um ca. 15 bis 20° vom gewünschten Phasendifferenz-Wert von 180° beitragen. Darüber hinaus führt dies zu unterschiedlich großen Amplituden der
- 10 Signale am symmetrischen Tor, was sich für die Funktionalität der nachzuschaltenden Stufen einer elektronischen Schaltung (z. B. eines Verstärkers) als Nachteil erweist.

- Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein mit
- 15 akustischen Volumenwellen arbeitendes Bauelement mit einem unsymmetrischen und einem symmetrischen Tor anzugeben, wobei die Phasendifferenz der symmetrischen Signale annähernd 180° beträgt.

- 20 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Bauelement gemäß Anspruch 1 gelöst. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung gehen aus den weiteren Ansprüchen hervor.

- Die Erfindung gibt ein mit akustischen Volumenwellen arbeitendes Bauelement an, das einen ersten Resonator und einen
- 25 zweiten Resonator umfaßt, die aufeinander gestapelt und miteinander mittels eines hinsichtlich der akustischen Eigenschaften zumindest teilweise durchlässigen Koppelschichtsystems akustisch gekoppelt sind.

- 30 Das Koppelschichtsystem umfaßt eine alternierende Abfolge von zumindest zwei $\lambda/4$ -Spiegelschichten mit unterschiedlicher (hoher bzw. niedriger) akustischer Impedanz sowie eine Kompensationsschicht, die eine Dicke von ungefähr $\lambda/8$
- 35 aufweist.

Der erste Resonator weist eine erste und eine zweite Elektrode und eine erste piezoelektrische Schicht, die zwischen der ersten und der zweiten Elektrode angeordnet ist, auf. Der zweite Resonator ist durch eine dritte und eine vierte Elektrode und eine zweite piezoelektrische Schicht, die zwischen der dritten und der vierten Elektrode angeordnet ist, gebildet. Das erfindungsgemäße Bauelement weist ein unsymmetrisch ausgebildetes erstes Tor und ein symmetrisch ausgebildetes zweites Tor auf. Das erste, vorzugsweise am Eingang angeordnete Tor weist einen signalführenden Anschluß auf, wobei der erste Resonator mit dem signalführenden Anschluß des ersten Tors verbunden und andererseits gegen Bezugspotential geschaltet ist. Das zweite, vorzugsweise am Ausgang angeordnete Tor weist einen ersten und einen zweiten Anschluß auf. Dabei ist der zweite Resonator zwischen dem ersten und dem zweiten Anschluß des zweiten Tors geschaltet.

In einer vorteilhaften Variante der Erfindung können weitere Resonatoren vorgesehen sein, die aufeinander gestapelt und über oder unter dem ersten und dem zweiten Resonator angeordnet sind. Es ist möglich, daß zumindest ein Teil der weiteren Resonatoren miteinander jeweils mittels eines weiteren zumindest teilweise durchlässigen Koppelschichtsystems akustisch gekoppelt sind.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung weist das erfindungsgemäße Bauelement auf der von dem Koppelschichtsystem abgewandten Seite des ersten und/oder des zweiten Resonators einen akustischen Spiegel auf, der zumindest zwei alternierende Schichten der Dicke von ungefähr $\lambda/4$ mit unterschiedlicher akustischer Impedanz umfaßt.

Als Schichten mit einer niedrigen akustischen Impedanz können z. B. Siliziumoxid-Schichten oder auch organische Schichten, insbesondere solche mit niedriger dielektrischer Konstante und insbesondere sogenannte low-k-Dielektrika dienen. Als

Schichten mit einer hohen akustischen Impedanz können z. B. Schichten aus W, Mo, AlN oder deren Abfolgen dienen.

Die Kompensationsschicht kann zwischen den Spiegelschichten
5 des Koppelschichtsystems angeordnet sein. Eine weitere
Möglichkeit besteht darin, die Kompensationsschicht zwischen
der zweiten Elektrode und der obersten Spiegelschicht des
Koppelschichtsystems oder zwischen der dritten Elektrode und
10 der untersten Spiegelschicht des Koppelschichtsystems
anzuordnen.

Es ist möglich, daß eine der Spiegelschichten des
Koppelschichtsystems, vorzugsweise diejenige mit niedriger
akustischer Impedanz, mit der Kompensationsschicht in einer
15 Schicht vereinigt ist. Dabei beträgt die Schichtdicke einer
solchen Schicht vorzugsweise $3\lambda/8$.

In einer vorteilhaften Variante der Erfindung ist zumindest
eine weitere Kompensationsschicht mit einer ungefähren Dicke
20 von $\lambda/8$ vorgesehen, die z. B. im Koppelschichtsystem oder im
akustischen Spiegel integriert sein kann. Möglich ist es
auch, daß die weitere Kompensationsschicht mit einer der
Spiegelschichten des Koppelschichtsystems oder mit einer der
Schichten des akustischen Spiegels vereinigt ist. Dabei
25 beträgt die Schichtdicke einer solchen Schicht vorzugsweise
 $3\lambda/8$.

Die Kompensationsschicht und/oder die weitere
Kompensationsschicht können z. B. aus Siliziumoxid bestehen.

30

Das erfindungsgemäße Bauelement hat gegenüber dem nach Stand
der Technik bekannten Stacked Crystal Filter den Vorteil, daß
es erfindungsgemäß gelingt, eine geringere Abweichung der
Phasendifferenz von 180° zwischen den Signalen am
35 symmetrischen Tor einzuhalten und die Amplitude dieser
Signale annähernd gleich groß zu halten.

Im folgenden wird die Erfindung anhand von schematischen und daher nicht maßstabsgetreuen Figuren näher erläutert.

5 Figur 1 zeigt ein an sich bekanntes Stacked Crystal Filter
 mit einem unsymmetrischen Eingang und einem
 symmetrischen Ausgang

10 Figur 2a zeigt ein erfindungsgemäßes Bauelement in
 schematischer Darstellung

 Figur 2b zeigt das Verhältnis der Amplituden der
 symmetrischen Signale am zweiten Tor eines
 bekannten und eines erfindungsgemäßen Bauelementes

15 Figur 2c zeigt die Abweichung der Phasendifferenz der
 symmetrischen Signale von 180° am zweiten Tor eines
 bekannten und eines erfindungsgemäßen Bauelementes

20 Figur 3 zeigt eine Ausgestaltung des erfindungsgemäßen
 Koppelschichtsystems

 Figur 4 und 5 zeigen jeweils ein vorteilhaftes
 Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen
 Bauelements

25 Figur 6a zeigt eine weitere Variante der Erfindung mit
 parallel zu dem zweiten Resonator geschalteter
 Induktivität

30 Figur 6b zeigt eine Übertragungsfunktion eines beispiel-
 haften erfindungsgemäßen Bauelementes mit und ohne
 Induktivität

35 In Figur 2a ist ein erfindungsgemäßes Bauelement schematisch
 dargestellt. Ein erster Resonator RE1 ist durch eine erste
 piezoelektrische Schicht PS1, eine erste E1 und eine zweite
 E2 Elektrode gebildet und zwischen einem signalführenden

Anschluß T1 eines ersten, unsymmetrisch ausgebildeten elektrischen Tores und Masse geschaltet. Ein zweiter Resonator RE2 ist durch eine zweite piezoelektrische Schicht PS1, eine dritte E3 und eine vierte E4 Elektrode gebildet und
5 zwischen einem ersten T21 und einem zweiten T22 Anschluß eines zweiten, symmetrisch ausgebildeten elektrischen Tores geschaltet. Die Resonatoren RE1 und RE2 sind mittels eines Koppelschichtsystems KS akustisch miteinander verbunden. Das Koppelschichtsystem KS weist alternierend angeordnete,
10 teilweise durchlässige Spiegelschichten mit einer hohen bzw. einer niedrigen akustischen Impedanz (Bezugszeichen HZ bzw. LZ) auf, die vorzugsweise eine Dicke von ca. $\lambda/4$ haben. Das Koppelschichtsystem KS umfaßt darüber hinaus eine Kompensationsschicht KO, die in diesem Ausführungsbeispiel
15 zwischen der zweiten Elektrode E2 und der Spiegelschicht LZ mit niedriger akustischer Impedanz angeordnet ist.

Die piezoelektrischen Schichten der Resonatoren bzw. die Elektroden sind z. B. aus AlN bzw. Al ausgeführt.

20

Unterhalb des zweiten Resonators RE2 ist ein akustischer Spiegel AS angeordnet, der eine Schicht LZ1 mit niedriger akustischer Impedanz, eine Schicht HZ1 mit hoher akustischer Impedanz und eine dazwischen angeordnete weitere
25 Kompensationsschicht KO1 aufweist.

Die Ergebnisse einer Simulation zu Amplituden- bzw. Phasenverhältnissen in einem erfindungsgemäßen (entspricht durchgezogener Linie) und einem bekannten (entspricht gestrichelter Linie) Stacked Crystal Filter sind in Figuren
30 2b und 2c vorgestellt.

Figur 2b vergleicht das Verhältnis der Amplituden der symmetrischen Signale am zweiten Tor eines bekannten und
35 eines erfindungsgemäßen Bauelementes. In Figur 2c wird die Abweichung der Phasendifferenz der symmetrischen Signale von 180° am zweiten Tor eines bekannten mit der eines

erfindungsgemäßen Bauelementes verglichen. Im vorgegebenen Paßband zwischen 1575 MHz und 1650 MHz weist das bekannte Stacked Crystal Filter eine Änderung des Amplitudenverhältnisses der symmetrischen Signale von ungefähr 1,5 dB bzw.
5 eine Abweichung der Phasendifferenz von 180° um ca. 15 bis 20° auf. Im erfindungsgemäßen Bauelement bleibt das Amplitudenverhältnis der symmetrischen Signale annähernd konstant 1:1, d. h. die symmetrischen Signale haben die gleiche Amplitude. Die Abweichung der Phasendifferenz von
10 180° beträgt im erfindungsgemäßen Bauelement weniger als 10° .

Eine mögliche Ausgestaltung des Koppelschichtsystems KS ist in Figur 3 gezeigt. Die Kompensationsschicht KO ist hier zwischen einem ersten und einem zweiten Schichtstapel, die
15 jeweils durch ein Spiegelschichtpaar LZ/HZ gebildet sind, angeordnet. Die Kompensationsschicht kann auch oberhalb oder unterhalb eines Schichtstapels mit alternierender Schichtabfolge angeordnet sein.

20 Eine weitere vorteilhafte Variante der Erfindung ist in Figur 4 dargestellt. Hier ist die Spiegelschicht LZ mit niedriger akustischer Impedanz und die Kompensationsschicht KO als eine Schicht mit einer ungefähren Dicke von $3\lambda/8$ ausgeführt. Möglich ist es auch, daß die Kompensationsschicht KO mit der
25 Spiegelschicht HZ mit hoher akustischer Impedanz in einer Schicht vereinigt ist.

In Figur 5 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung gezeigt. Das Koppelschichtsystem KS weist zwei
30 Kompensationsschichten auf, die in dieser Variante jeweils mit einer die Spiegelschicht LZ mit niedriger akustischer Impedanz vereinigt sind und eine Schicht der ungefähren Dicke $3\lambda/8$ bilden.

35 In Figur 6a ist eine weitere Variante der Erfindung vorgestellt. Hier ist parallel zu dem zweiten Resonator RE2 eine Induktivität L1 geschaltet.

In Figur 6b zeigt eine Übertragungsfunktion eines beispielhaften erfindungsgemäßen Bauelementes mit und ohne Induktivität. Die Übertragungsfunktion eines erfindungsgemäßen Bauelementes ohne Induktivität (gestrichelte Linie) weist ein aufgespaltetes Paßband mit zwei Resonanzen, deren Frequenzen sich z. B. um 50 bis 200 MHz (hier um 110 MHz) unterscheiden, und einem dazwischen liegenden Einbruchsbereich mit erhöhter Dämpfung auf. Die Übertragungsfunktion eines erfindungsgemäßen Bauelementes mit Induktivität ist durch eine durchgezogene Linie dargestellt. Der Wert der Induktivität L_1 ist vorzugsweise so ausgewählt, daß die Amplitude des Signals im Einbruchsbereich zwischen den Resonanzen gegenüber der Variante ohne die zum zweiten Resonator parallel geschaltete Induktivität um mindestens 50 % erhöht ist.

Die Erfindung wurde der Übersichtlichkeit halber nur anhand weniger Ausführungsformen dargestellt, ist aber nicht auf diese beschränkt. Weitere Variationsmöglichkeiten ergeben sich insbesondere im Hinblick auf die mögliche Kombination der oben vorgestellten Anordnungen und auf die Anzahl der Schichten in den genannten Schichtbereichen des erfindungsgemäßen Bauelements. Die Erfindung ist nicht auf einen bestimmten Frequenzbereich oder einen bestimmten Anwendungsbereich beschränkt. Jede der Schichten des erfindungsgemäßen Bauelements (z. B. die piezoelektrische Schicht oder die Elektroden) kann auch einen Mehrschichtaufbau aufweisen.

Patentansprüche

1. Mit akustischen Volumenwellen arbeitendes Bauelement,

- mit einem unsymmetrisch ausgebildeten ersten Tor, das
5 einen signalführenden Anschluß (T1) aufweist, und einem
symmetrisch ausgebildeten zweiten Tor mit einem ersten
(T21) und einem zweiten (T22) Anschluß,
- mit einem ersten Resonator (RE1) und einem zweiten
10 Resonator (RE2), die aufeinander gestapelt und
miteinander mittels eines zumindest teilweise
durchlässigen Koppelschichtsystems (KS) akustisch
gekoppelt sind,
- wobei das Koppelschichtsystem (KS) eine alternierende
15 Abfolge von zumindest zwei $\lambda/4$ -Spiegelschichten (LZ, HZ)
mit unterschiedlicher akustischer Impedanz umfaßt,
- wobei das Koppelschichtsystem (KS) eine
Kompensationsschicht (KO) umfaßt, die eine Dicke von $\lambda/8$
aufweist,
- wobei der erste Resonator (RE1) eine erste Elektrode
20 (E1), eine zweite Elektrode (E2) und eine erste
piezoelektrische Schicht (PS1), die zwischen der ersten
und der zweiten Elektrode angeordnet ist, aufweist,
- wobei der zweite Resonator (RE2) eine dritte Elektrode
25 (E3), eine vierte Elektrode (E4) und eine zweite
piezoelektrische Schicht (PS2), die zwischen der dritten
und der vierten Elektrode angeordnet ist, aufweist,
- wobei der erste Resonator (RE1) mit dem signalführenden
Anschluß (T1) des ersten Tors verbunden und gegen
Bezugspotential geschaltet ist,
- 30 - wobei der zweite Resonator (RE2) zwischen dem ersten
(T21) und dem zweiten (T22) Anschluß des zweiten Tors
geschaltet ist.

2. Bauelement nach Anspruch 1,

35 bei dem auf der von dem Koppelschichtsystem abgewandten
Seite des ersten und/oder des zweiten Resonators (RE1,
RE2) ein akustischer Spiegel angeordnet ist, der

zumindest zwei alternierende Schichten der Dicke von $\lambda/4$ mit unterschiedlicher akustischer Impedanz aufweist.

3. Bauelement nach Anspruch 1 oder 2,
5 bei dem die Kompensationsschicht (KO) zwischen den Spiegelschichten (LZ, HZ) des Koppelschichtsystems angeordnet ist.
4. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
10 bei dem die Kompensationsschicht (KO) zwischen der zweiten Elektrode (E2) und der obersten Spiegelschicht (LZ, HZ) des Koppelschichtsystems oder zwischen der dritten Elektrode und der untersten Spiegelschicht des Koppelschichtsystems (LZ, HZ) angeordnet ist.
- 15 5. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem eine der Spiegelschichten (LZ, HZ) des Koppelschichtsystems mit der Kompensationsschicht (KO) in einer Schicht der Dicke $3\lambda/8$ vereinigt ist.
- 20 6. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem zumindest eine weitere Kompensationsschicht (KO1) vorgesehen ist.
- 25 7. Bauelement nach Anspruch 6, bei dem auf der von dem Koppelschichtsystem abgewandten Seite des ersten und/oder des zweiten Resonators (RE1, RE2) ein akustischer Spiegel (AS) angeordnet ist und bei dem die zumindest eine weitere Kompensationsschicht
30 (KO1) Bestandteil des akustischen Spiegels ist.
8. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem die Kompensationsschicht (KO) und/oder die zumindest eine weitere Kompensationsschicht (KO1) aus
35 Siliziumoxid ausgeführt ist.

9. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
bei dem die Übertragungsfunktion ein aufgespaltetes
Paßband mit zwei Resonanzen, die sich um 50 bis 200 MHz
unterscheiden, und einem dazwischen liegenden

5 Einbruchsbereich aufweist,
bei dem parallel zu dem zweiten Resonator (RE2) eine
Induktivität geschaltet ist, deren Wert so ausgewählt
ist, daß die Amplitude des Signals im Einbruchsbereich
zwischen den Resonanzen um mindestens 50 % erhöht wird.

10

10. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 9,
bei dem weitere Resonatoren vorgesehen sind, die
aufeinander gestapelt und über oder unter dem ersten und
dem zweiten Resonator (RE1, RE2) angeordnet sind.

15

11. Bauelement nach Anspruch 10,
bei dem zumindest ein Teil der weiteren Resonatoren
miteinander jeweils mittels eines weiteren zumindest
teilweise durchlässigen Koppelschichtsystems (KS)
20 akustisch gekoppelt sind.

Zusammenfassung

Mit akustischen Volumenwellen arbeitendes Bauelement mit unsymmetrisch/symmetrischer Beschaltung

5

Die Erfindung schlägt ein mit akustischen Volumenwellen arbeitendes Bauelement vor, das zwei gestapelte und miteinander akustisch gekoppelte BAW-Resonatoren (BAW = Bulk Acoustic Wave) aufweist, wobei ein erster Resonator mit einem unsymmetrischen und ein zweiter Resonator mit einem symmetrischen Tor verbunden ist. Die akustische Kopplung erfolgt durch ein teildurchlässiges Koppelschichtsystem, das eine alternierende Abfolge von zumindest zwei $\lambda/4$ -Spiegelschichten mit unterschiedlicher akustischer Impedanz umfaßt. Das Koppelschichtsystem weist darüber hinaus eine Kompensationsschicht auf, die eine ungefähre Dicke von $\lambda/8$ hat. Mit Hilfe der erfindungsgemäßen Kompensationsschicht gelingt es, eine durch Reflexionen an den Spiegelschichten hervorgerufene Abweichung der Phasendifferenz von vorgegebenen 180° zwischen den Anschlüssen des symmetrischen Tores auf annähernd 180° auszugleichen.

10

15

20

Figur 1

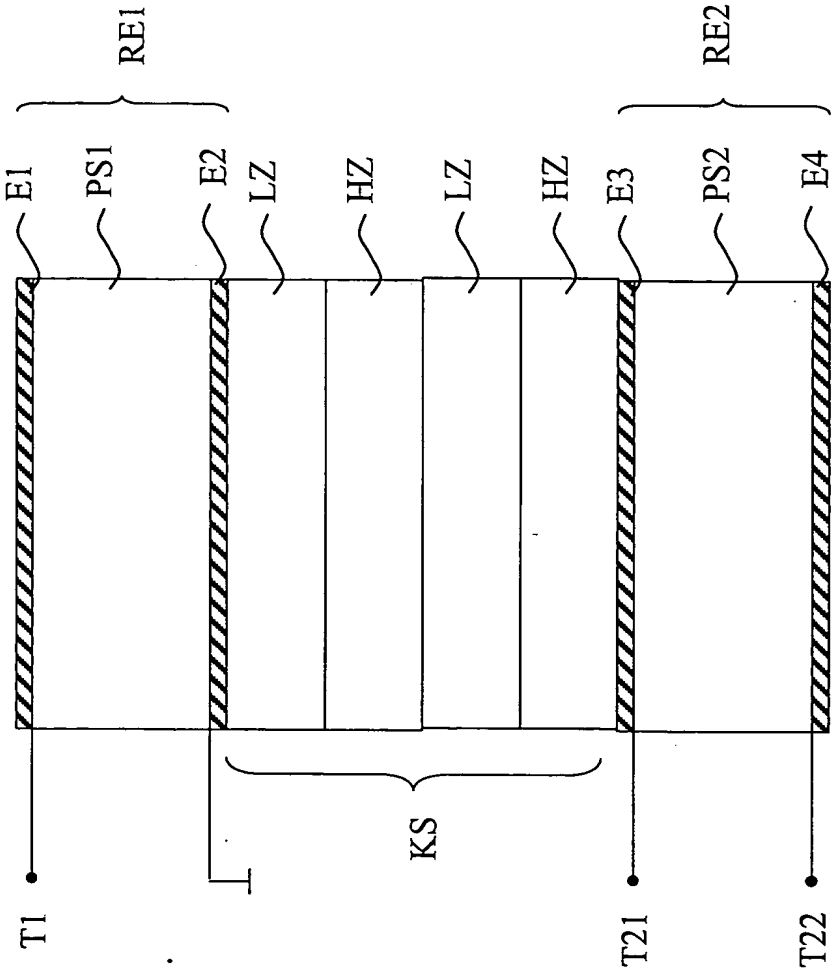


Fig. 1 (Stand der Technik)

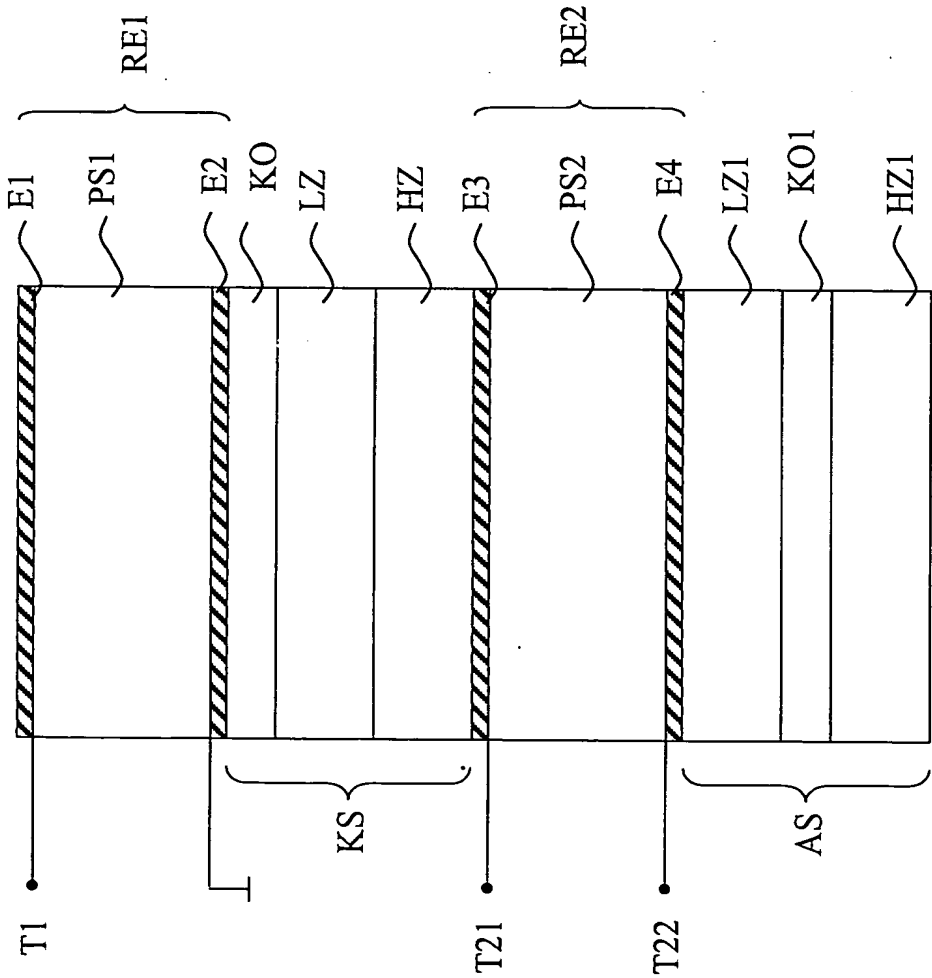


Fig. 2a

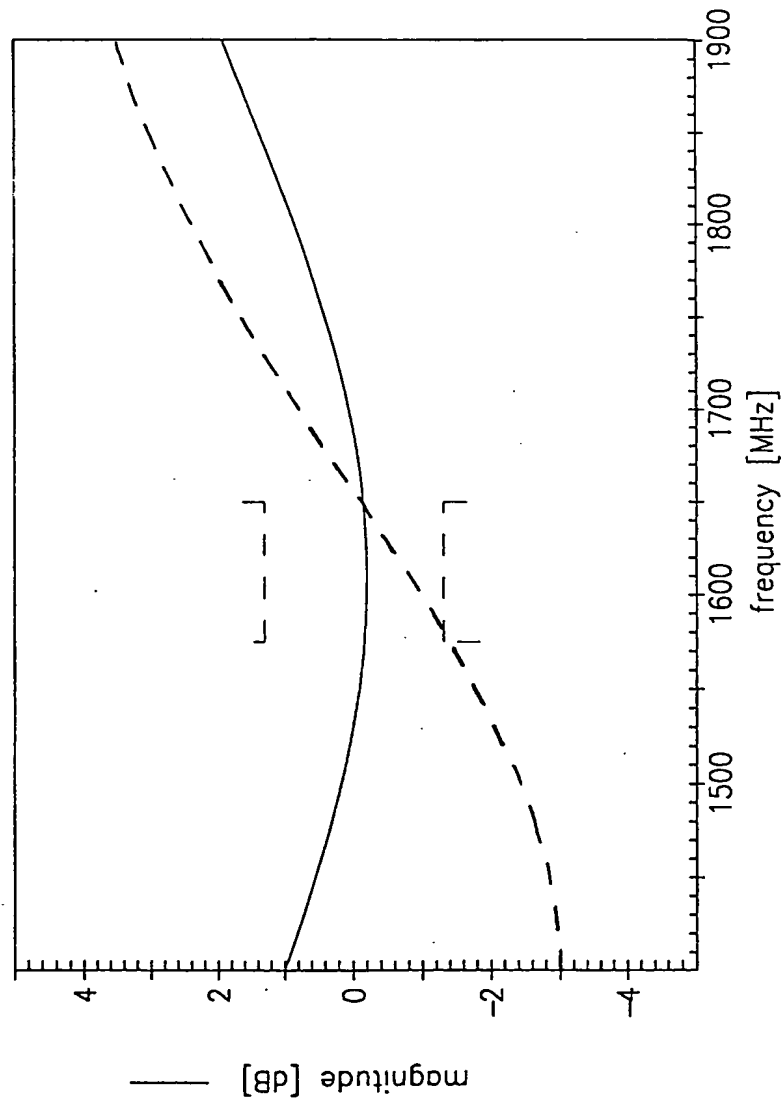


Fig. 2b

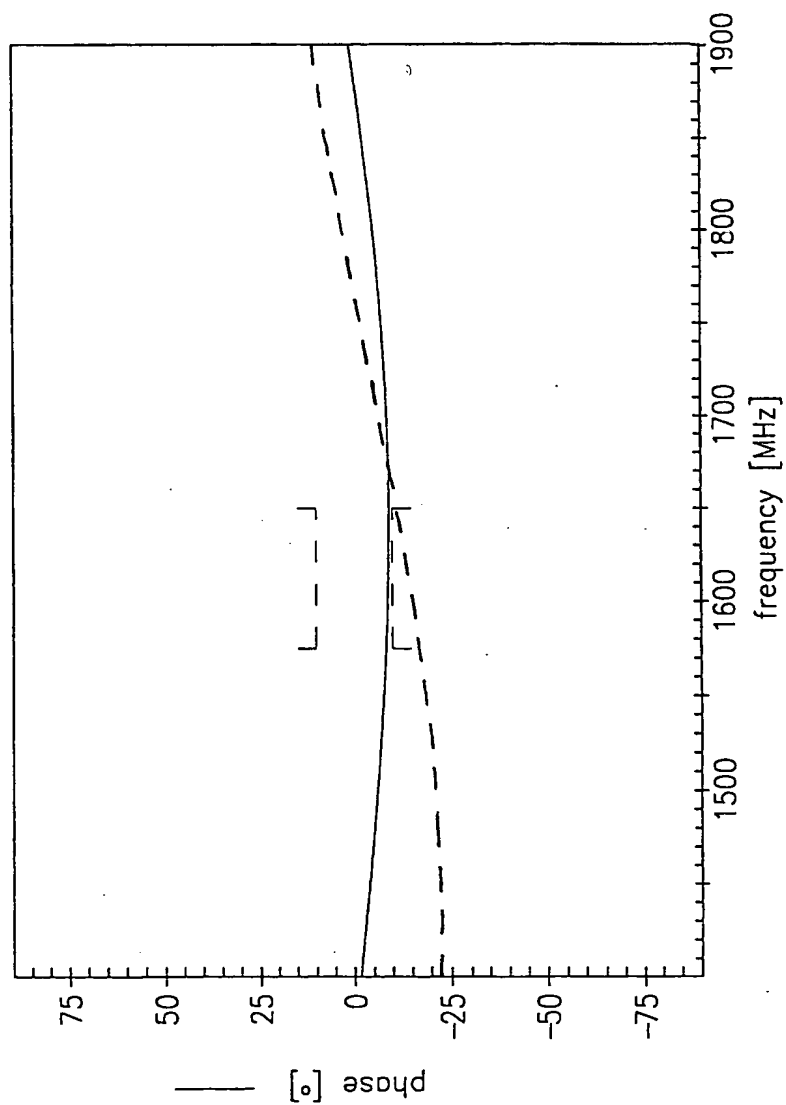


Fig. 2c

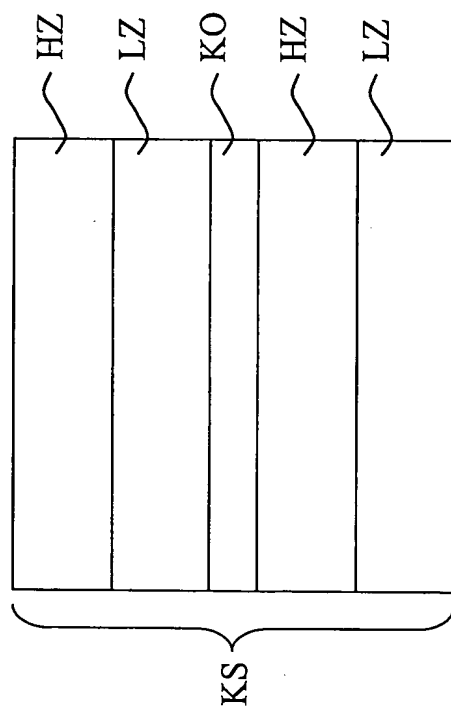


Fig. 3

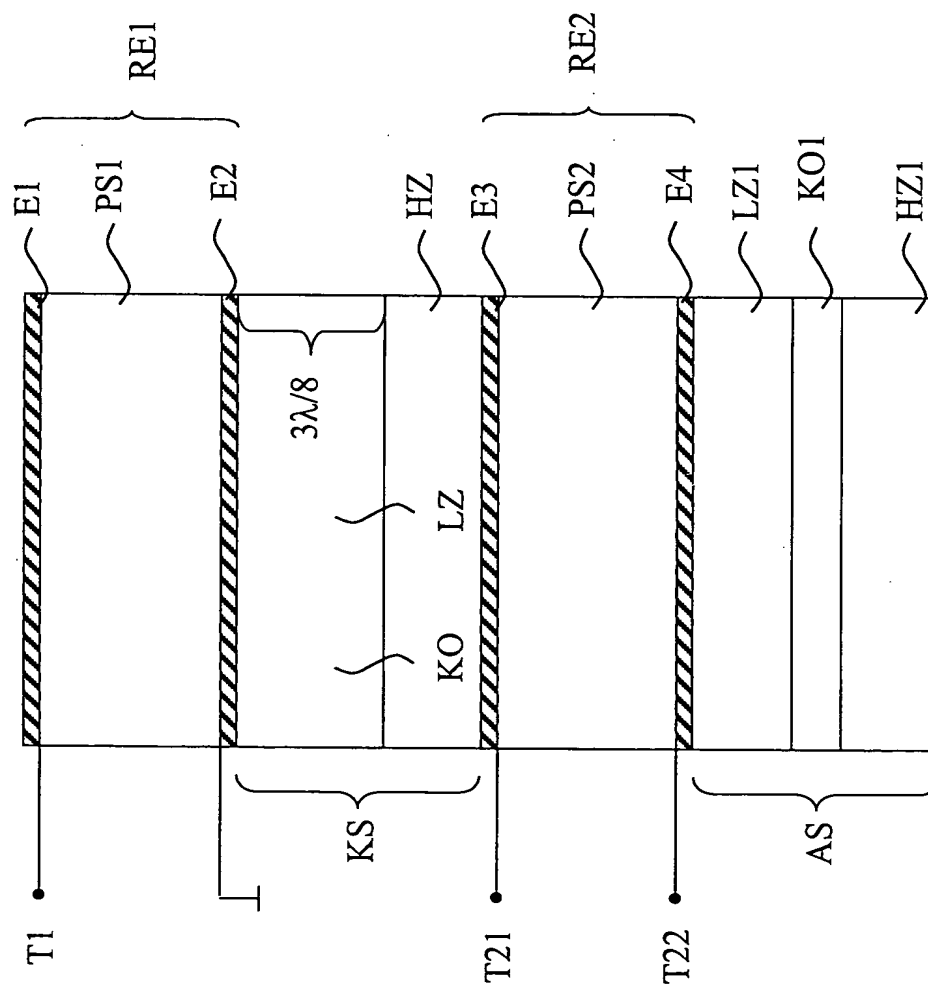


Fig. 4

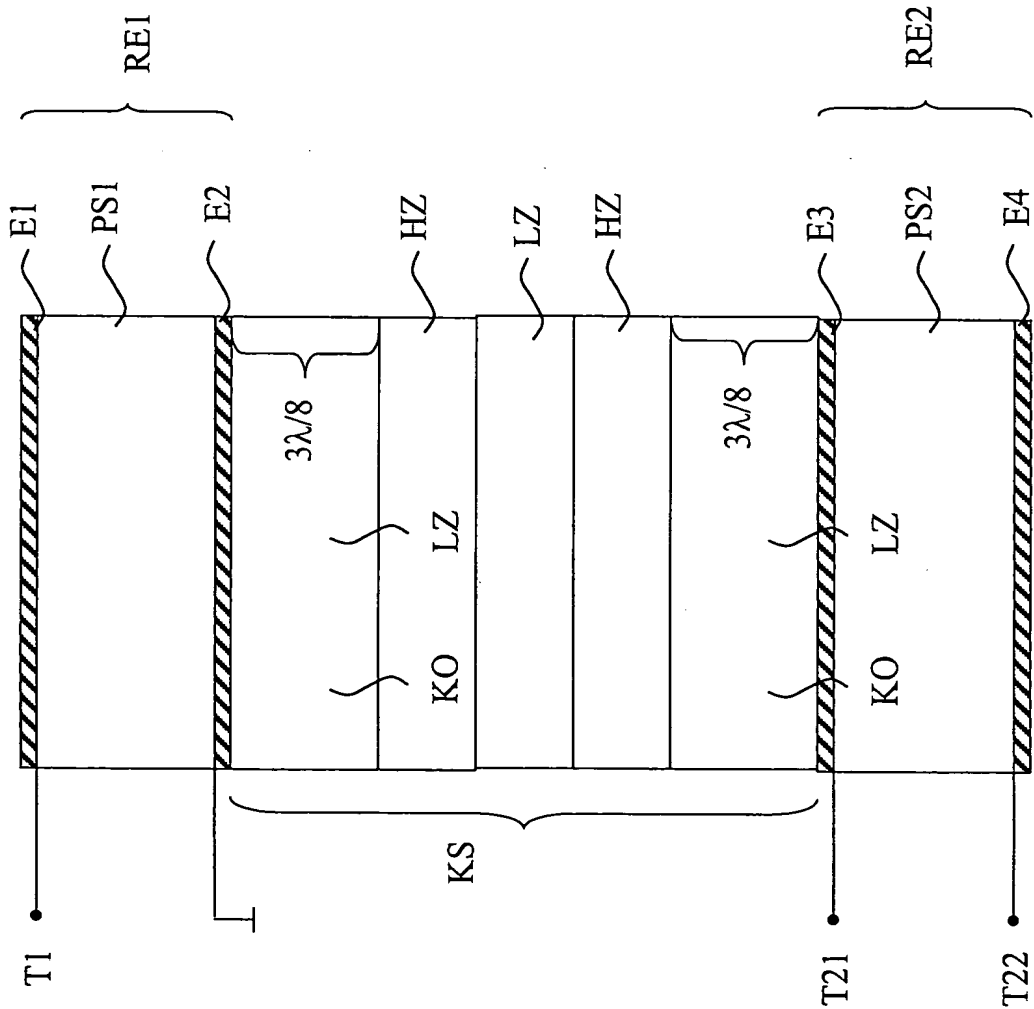


Fig. 5

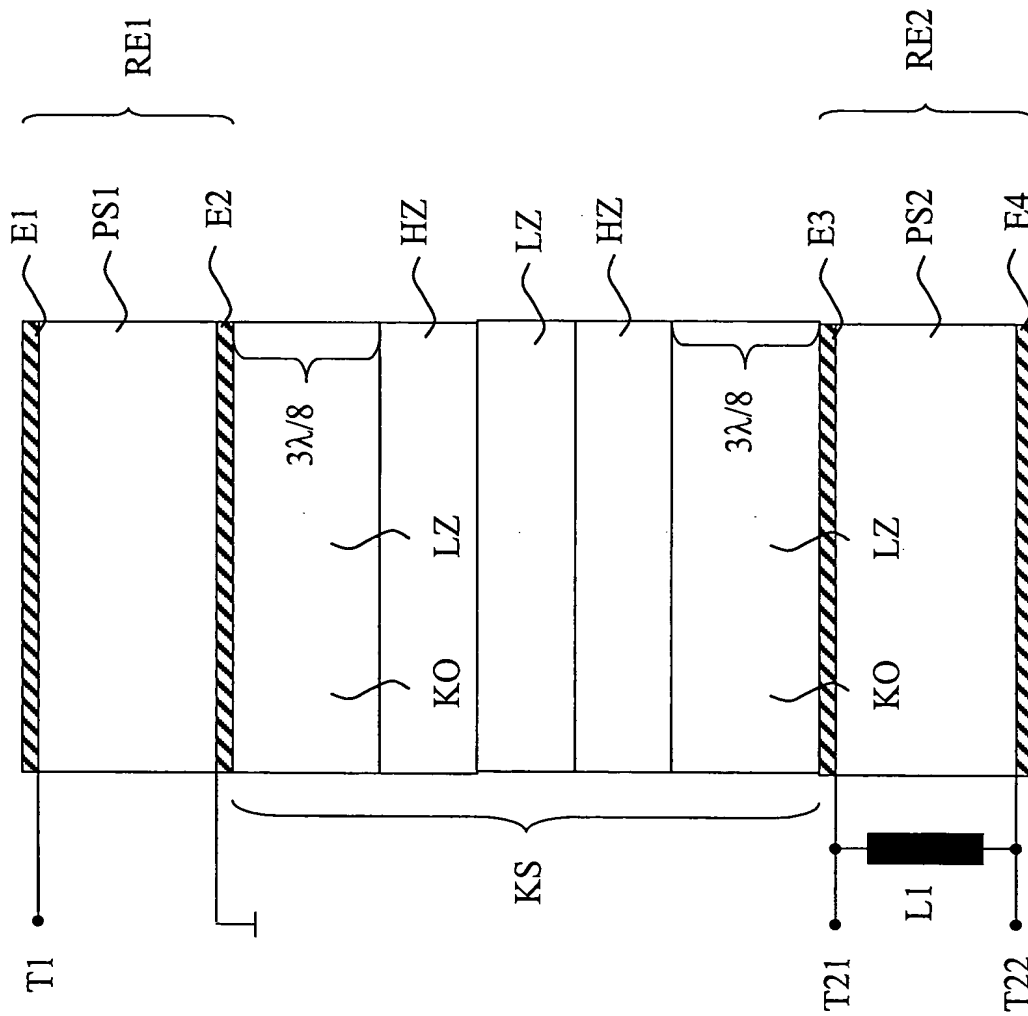


Fig. 6a

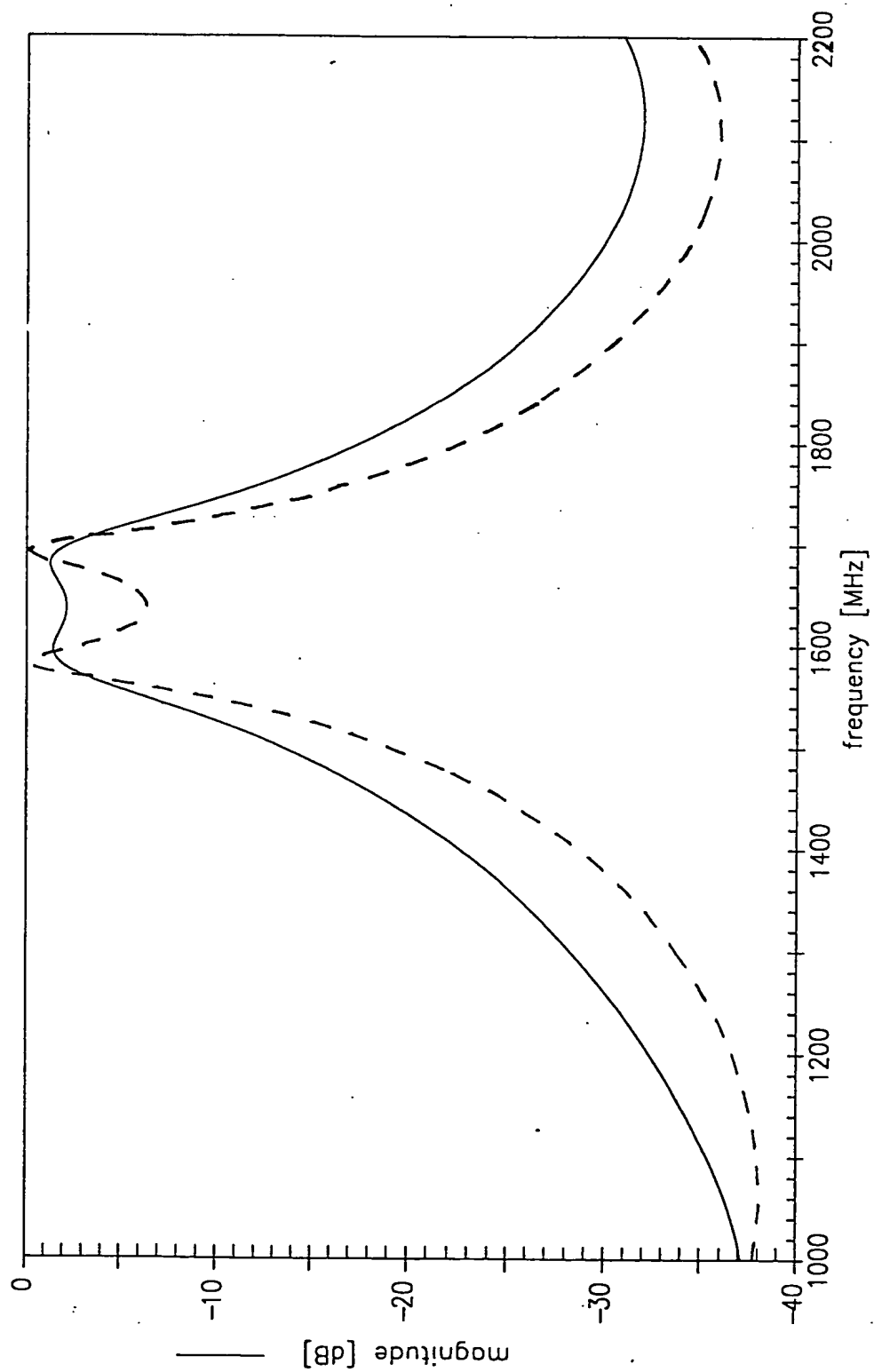


Fig. 6b

